WCDMA시스템에서 간섭제거기를 적용한 통화권 분석에 관한 연구

Study on Coverage Analysis using Interference Cancellation in WCDMA System

박 태 준 · 박 재 원* · 박 용 완*

Tae-Jun Park · Jae-Won Park* · Yong-Wan Park*

요 약

본 논문에서는 간섭제거기(IC; Interference Cancellation or MUD; Multi-User Detector)를 적용한 WCDMA (Wideband Code Division Multiple Access)방식의 비동기식 IMT(International Mobile Telecommunication)-2000 시스템에서 역방향 링크의 통화권에 대해 분석하였다. 간섭제거기는 역방향 링크의 통화권 확장을 위해 사용되었으며, 시스템 용량과 통화권의 관계를 대수-정규(log-normal)분포의 전파음영 환경에서 경로손실과 전파음영 감쇠를 포함하는 전파손실모델 및 간섭의 영향을 고려하였다. 간섭량은 정량 산출이 어렵기 때문에 본 논문에서는 전체 셀의 간섭 대 내부 셀의 간섭비를 이용하였다. 간섭제거기를 사용하여 다중접속간섭(MAI; Multiple Access Interference)의 제거를 통한 시스템의 성능향상을 비교 분석하기 위해 간섭제거기 효율(β)을 이용하였다. 모의실험은 실제 무선전파환경에 근접한 전파예측 모델인 Hata 모델을 이용하여 반송파 주파수 800 MHz와 1900 MHz에서 음성서비스와 데이터서비스의 전송속도(bit rate)에 따라 동일한 대역폭(3.84 MHz)에서의 통화권을 분석하고, 내부셀에 간섭제거기를 적용하여, 용량 및 통화권의 성능을 비교 분석하여 실제 시스템에서의 성능을 예측하였다.

Abstract

In this paper, we analyze the coverage of asynchronous IMT(International Mobile Telecommunication)-2000 reverse link with a MUD(Multi-User Detector) system. The MUD system is utilized to increase the coverage of reverse link. Also we have considered a propagation loss model and an interference effect. Because it is very difficult that we have calculated the interference accurately, so a fractional cell loading factor(F) is used in this paper. We make use of a MUD efficiency(β) to analyze the performance; this efficiency is presented the MAI of reduction. A simulation utilizes Hata's model, we calculated the coverage according to voice and data services. In this paper, we have assumed that the frequency of carrier has 800 MHz or 1.9 GHz, and a bandwidth is decided 3.84 MHz. We have predicted the performance of actual system by the analysis of capacity and coverage.

Key words : Coverage, Hata Model, MUD(Multi-User Detector), WCDMA, Interference Cancellation

Ⅰ. 서 론

최근 CDMA이동통신 시스템은 IMT-2000의 상용화와 WAP(Wireless Application Protocol)등의 무

「본 연구는 정보통신연구진흥원에서 지원하고 있는 대학기초연구지원사업의 수행결과입니다.」

영남대학교 멀티미디어공학과(Dep. of Multi-Media Engineering, Yeungnam Univ.)

*영남대학교 정보통신공학과(Dep. of Information and Communication Engineering, Yeungnam Univ.)

· 논 문 번 호: 20020326-041

· 수정완료일자: 2002년 7월 8일

선인터넷 기술을 이용한 다양한 무선데이터서비스가 출시되어 기존의 음성서비스 위주의 통신에서 데이터 위주의 통신으로 변화되어가고 있다[1],[2]. 이에 국제전기통신연합(ITU)에서 표준화 된 제 3세대 이동통신 기술인 IMT-2000서비스는 기존의 통신방식(TDMA, FDMA)에 비해 높은 통신용량을 갖는 CDMA 방식을 채택하였다. 그러나 대역확산기술에 기반을 둔 CDMA 방식은 각 사용자가 서로 다른 코드를 사용하여 채널에 동시에 접속하게 되므로 다중경로 페이딩(multi-path fading)과 지연확산(delay spread)등에 의해 사용하는 코드 신호간의 직교성이 완벽하지 못해 각 신호간에 임의의 시간 오프셋(random time offset)이 발생하고 이 결과로서 다중접속간섭이 발생하게 된다[3].

이 다중접속간섭은 한명의 사용자에 의한 간섭은 큰 문제가 되지 않지만 사용자의 수가 증가할수록, 다중접속간섭에 의해 신호의 검출이 어려워지고 이로 인해 CDMA의 성능과 채널의 용량에 상당한 영향을 미치게 된다.

특히 IMT-2000 시스템에서는 고속, 대용량의 데이터를 요구하는 사용자들의 다중간섭에 의해 저속, 소용량의 데이터를 사용하는 사용자의 신호에 심각한 영향을 미치게 될 것이다. 그리고 이 시스템은 기존의 시스템에 비해 주파수 대역이 높은 2 GHz 대역에서 통신이 이루어지므로 상대적으로 전파감쇠와 직진성이 커진다. 또한 동일한 주파수 대역을 공유하는 CDMA 방식을 사용하므로 시스템의 전체 통신용량은 기지국 및 이동국이 받는 간섭에 의해서 제한을 받는다(interference limited system)[2]. 즉, 동일한 송신전력에 의한 통화권이 기존시스템에 비해 축소되고, 다중경로 페이딩과 지형지물에 의한 음영(shadowing)효과가 증대함을 의미한다[6]. 이것은 기존의 무선통신시스템과 비교해서 훨씬 더 많은 채널용량을 목표로 하는 IMT-2000 시스템에서 해결해야 하는 중요한 문제이다. 이러한 문제점을 해결하기 위해 간섭신호들을 제거하여 시스템의 용량을 증대시키는 간섭제거기에 대한 연구 및 실제 구현에 많은 관심이 모아지고 있다[4],[5]. 간섭제거기를 각 기지국에 적용하여 각 기지국과 이동국이 받는 간섭을 최소화하여 시스템의 통신용량과 통화권을 최대화 시키고 고속, 대용량의 데이터 서비스를 원활히 제공하여야 한다. 그러나 IMT-2000 시스템의 무선전파환경에서 간섭을 고려한 용량과 통화권의 분석에 관한 연구가 미비한 실정이다.

다양한 이동멀티미디어 서비스를 제공하는 IMT-2000에서는 고속의 데이터서비스를 요구하는 사용자 들로부터 Intra (내부)셀 및 Inter(외부)셀간의 간섭이 상당히 증대되어 기존 시스템보다 성능이 저하될 우려가 있다. 이는 기존의 무선통신시스템(2세대)과 비교해서 훨씬 더 많은 채널용량 확보를 목표로 하고 있는 IMT-2000 시스템에서 해결해야 될 중요한 문제이다. 이를 해결하기 위해 멀티서비스 환경 에서의 용량 문제, 상호 서비스간 간섭정도, 통화권 등에 관한 정확한 분석이 우선적으로 이루어져야 한다. 본 논문에서는 기존의 연구에서 사용한 전파예측모델인 Lee 모델에 비해 실제 무선전파환경에 근접한 Hata 모델을 이용하며, 전체 셀의 간섭 대 내부셀의 간섭비(Fractional Cell Loading)와 간섭제거기 효율(β)를 이용하여 통화권을 분석하였다[1],[6].

본 논문의 구성은 II장에서는 CDMA 시스템에서의 통화권에 대해 알아보며, III장에서는 본 논문에서 구성한 통화권 산출 모델에 대해 설명을 한다. IV장에서는 본 논문의 시스템 모델링을 설명하며 주어진 환경에서 모의실험을 통한 수치해석 결과를 바탕으로 실제 환경에서의 결과를 예측한다.

마지막으로 V장에서는 본 논문의 결론을 맺는다.

II. CDMA 시스템에서의 통화권

CDMA 시스템은 채널 용량과 통화권 및 간섭의 상호작용에 큰 영향을 받는다. 이러한 CDMA 방식의 신호는 수신기의 신호 대 간섭비에서 시스템이 요구하는 충분한 전력레벨을 가져야 한다. 또한 동일한 반송파를 공유함으로 간섭은 주로 내부셀에서 발생되고 이는 내부셀과 인접 셀 간의 전송량에 영향을 받는다. 즉, CDMA 방식에서 전파가 도달할 수 있는 범위는 간섭레벨, 전송장치와 수신기의 거리, 그리고 수신기와 간섭원의 거리에 의해 결정되어진다. 이러한 항목들은 순방향 링크(Forward link)와 역방향 링크(Reverse link)에 모두 동일하게 적용된다.

본 논문에서는 역방향 링크의 통화권에 대해 다

루며, 역방향 링크의 통화권 및 산출방법들을 설명한다.

역방향 링크에서의 통화권은 단말기에서 기지국의 간섭총량을 극복할 수 있는 전송전력으로 도달할 수 있는 지역으로 이루어진다. 따라서 기지국에서 허용할 수 있는 경로손실은 단말기의 제한된 전송전력에 따라 제한되며, 여기서 경로손실은 단말기와 기지국간의 최대거리와 같다. 과부하 된 셀은 높은 레벨의 간섭 현상을 보이기 때문에 이 최대거리는 셀의 부하가 증가될수록 짧아진다. 또한 사용자가 많은 주위 셀과 외부 간섭원들도 이러한 최대거리를 감소시키는 요인이 된다[7],[8].

역방향 링크에서 기지국의 통화권을 산출하기 위해 대수-정규 분포된 전파음영에 의한 감쇠를 포함하는 전파손실 모델을 사용한다. 일반적으로 전파감쇠는 거리에 따른 전력의 법칙으로 표현되며, 경로손실과 전파 음영에 의한 감쇠를 나타내는 대수-정규 성분의 곱으로 나타낸다. 따라서 기지국으로부터 거리가 d만큼 떨어진 사용자의 전파감쇠는 다음과 같이 나타낼 수 있다[9]~[11].

$$\tau(d,\xi) = d^{\alpha} \cdot 10^{\frac{\xi}{10}} \tag{1}$$

$$L_{(dB)} = \alpha \cdot 10\log(d) + \xi \tag{2}$$

여기서, 식 (2)는 식 (1)을 데시벨(dB) 단위로 나타낸 것이다. d는 기지국과 이동국 사이의 거리를 나타내고, ξ는 평균이 0이고, 표준편차 σ =8 dB인 가우시안 랜덤변수이고, α는 경로손실 지수를 나타내며, 일반적으로 2~5사이의 값을 가진다[3]. 식 에서 다음과 같은 통화권을 산출하는 일반식을 도출할 수 있다.

$$d = 10^{\frac{L_{(dB)} - \xi}{\alpha \cdot 10}} \tag{3}$$

CDMA 시스템과 같이 동일 주파수를 여러 셀이 공유하여 사용하는 경우, 단일 셀 내의 채널에 의한 간섭뿐만 아니라 인접한 주변 셀로부터의 간섭에 따른 영향을 받게 된다. 이러한 간섭을 고려하기 위해 전체 셀의 간섭 대 내부셀의 간섭비, 즉 F는 다음과 같이 나타낼 수 있다[1],[12],[13].

$$F = \frac{I_{own} + P_{RX}}{I_{own} + P_{RX} + I_{other}} \tag{4}$$

여기서, P_{RX}는 사용자의 수신 신호전력이고, $E_b/N_0 = (P_{RX}/N_t)$(W/R)로부터 $P_{RX}=E_b/G_P$라 가정할 수 있다[1].

E_b는 비트당 에너지, N_0는 잡음전력밀도를 나타내고, N_t는 전체잡음전력, R은 비트율을 표현한다. G_P는 처리이득(processing gain: W/R)으로 대역폭(W)과 비트율(R)로서 표현할 수 있다. 전체 셀의 간섭 대 내부셀의 간섭비(F)를 이용해서 내부셀의 간섭(I_{own})과 외부 셀의 간섭(I_{other})을 포함한 총 간섭량(I_0)을 다음과 같이 나타낼 수 있다[1].

$$I_0 = I_{own} + I_{other} = \left(\frac{N}{F} - 1\right) \cdot \frac{E_b}{G_p} \tag{5}$$

여기서, N은 사용자 수(용량)를 나타낸다.

전체 간섭을 고려한 CDMA 시스템에서 기지국과 단말기 사이에 부하가 없을 때(unloaded) 즉, 단말기가 기지국으로부터 서비스를 제공받지 않고 있을 때 I_0는 0이 되므로, 부하가 있는 경우와 부하가 없는 경우의 기지국에서 요구하는 E_b/N_0와의 관계는 다음과 같이 나타낸다.

$$\frac{E_{b,loaded}}{I_0 + N_0} = \frac{E_{b,loaded}}{\left(\frac{N}{F} - 1\right) \cdot \frac{E_b}{G_P} + N_0} = \left(\frac{E_b}{N_0}\right)_{unloaded} \tag{6}$$

여기서, $E_{b,loaded}$는 부하가 있는 경우(loaded)의 비트당 에너지를 나타낸다.

다음은 기지국과 단말기 사이에 부하가 있는 경우, 기지국에서 요구하는 E_b/N_0를 나타낸다[1].

$$\left(\frac{E_b}{N_0}\right)_{loaded} = \frac{1}{\left(\frac{E_b}{N_0}\right)^{-1}_{unloaded} - \left(\frac{N}{F} - 1\right) \cdot \frac{1}{G_P}} \tag{7}$$

역방향 링크에서 기지국의 통화권을 분석하기 위해 기지국에서 수용할 수 있는 최대 용량(N)을 구하고 이를 만족하는 최대 통화권을 구할 수 있다.

간섭을 고려한 용량은 식 (7)에 의해 다음과 같이 유도해 낼 수 있다.

$$N=\left[\left\{\left(\frac{E_b}{N_0}\right)^{-1}_{unloaded}-\left(\frac{E_b}{N_0}\right)^{-1}_{loaded}\right\}\cdot G_P+1\right]\cdot F \quad (8)$$

여기서, 기지국과 단말기 사이에 부하가 없을 때, 기지국에서 수용 가능한 최대 용량을 다음과 같이 구할 수 있다.

$$N_{max}=\left\{\left(\frac{E_b}{N_0}\right)^{-1}_{unloaded}\cdot G_P+1\right\}\cdot F \quad (9)$$

기지국의 최대 통화권은 기지국에서 허용 가능한 최대 경로손실(L_{max})로부터 구할 수 있다. 이때, 최대 경로손실을 구하기 위해 먼저 최소 수신전력($P_{RX,min}$)을 구해야 하며, 다음과 같이 구할 수 있다[1].

$$L_{max}=P_{TX,MS}+G_{MS}+G_{BS}-P_{RX,min} \quad (10)$$

$$P_{RX,min}=E_b/N_0+10\log(R_b)+NF+kT \quad (11)$$

여기서, $P_{TX.MS}$는 단말기 송신전력, G_{MS}는 단말기 안테나 이득, G_{BS}는 기지국 안테나 이득, E_b는 수신된 비트 당 에너지, N_0는 열 잡음과 수신기 잡음 지수를 포함한 총 잡음 밀도, R_b는 전송 비트율, NF는 수신기 잡음(dB), kT는 열 잡음 밀도(dBm/Hz)를 나타낸다.

전파손실과 간섭을 고려한 최대 통화권은 통화권을 산출하는 일반식인 식 (3)과 경로손실 식 (10)과 기지국에서 요구하는 E_b/N_0인 식 (7)을 이용하여 다음과 같이 구할 수 있다.

$$d_{max}=10^{\frac{P_{TX,MS}+G_{MS}+G_{BS}-\left(\left(\frac{1}{\left(\frac{E_b}{N_0}\right)^{-1}_{unloaded}-\left(\frac{N}{F}-1\right)\frac{1}{G_P}}\right)+10\log(R_b)+NF+kT\right)-\xi}{\alpha\cdot 10}} \quad (12)$$

여기서, 식 (12)는 전파손실과 간섭을 고려하여 최대 통화권을 구하는 방법을 나타낸다. 하지만, 이를 실제환경에 적용하려면 전파예측모델을 고려하여야 한다.

기존에 연구된 논문에서는 Lee 모델(식 (13))을 사용하여 다음과 같이 최대 통화권(d^{Lee}_{max})을 구한다[1],[12].

$$L^{Lee}=123+\alpha\cdot\log(d)+\zeta \quad (13)$$

$$d^{Lee}_{max}=10^{\frac{L_{max}-123dB-\zeta}{\alpha\cdot 10}} \quad (14)$$

여기서, ζ 는 로그노말 shadowing (dB)을 나타내며, α 는 경로손실 지수를 나타낸다.

Ⅲ. 전파예측모델과 간섭제거기의 적용에 따른 통화권의 해석

CDMA 시스템에서 각 사용자간의 간섭 즉, 다중접속간섭에 의한 채널용량 및 통화권의 감소문제를 해결하기 위해 기지국에 간섭제거기를 적용할 필요성이 있다. 간섭제거기를 적용한 기지국은 내부셀의 다중접속간섭을 제거하여 채널용량을 증가시키고 통화권을 확장한다.

본 장에서는 간섭제거기의 성능계측에 의한 간섭제거기 효율(β)을 내부셀에 적용하여 채널용량 및 통화권의 확장을 Lee 모델에 비해 실제 무선전파환경에 근접한 환경에서 실험한 결과로 입증된 전파예측모델인 Hata 모델을 사용하여 실제환경에서의 결과를 예측하여 비교,분석한다[3],[6],[10].

3-1 Hata 모델을 적용한 통화권 산출

Hata 모델은 반송파 주파수 범위, 송신기와 수신기 안테나의 높이, 건물의 밀집도 등과 같은 파라메터를 함수로 하여 보다 더 복잡한 경로손실을 고려하며, 또한 개방환경과 도심환경, 교외환경의 전파환경도 고려하므로 실제 무선전파환경을 가정하여 모의실험에 적합한 전파예측모델이다[3].

다음은 경로손실을 나타내는 일반식이다.

$$L_{Hata(dB)}=L_{f_{MHz}}+\alpha\cdot 10\log(d) \quad (15)$$

여기서, L_{fMHz}는 Hata 모델에서의 경로손실로 반송파 주파수에 따라 다음과 같이 정의한다[3],[7].

$$L_{f_{MHz1}}=69.55+26.16\log_{10}(f_{MHz1})-13.82\log_{10}(h_b)-a(h_m)-K \quad (16)$$

$$L_{f_{MHz2}}=46.3+33.9\log(f_{MHz2})-13.82\log_{10}(h_b)-a(h_m)-K \quad (17)$$

여기서, f_{MHz1}, f_{MHz2}는 반송파 주파수(MHz)로 범위는 다음과 같다.

$$150\ MHz \le f_{MHz1} \le 1000\ MHz$$

$$1500\ MHz \le f_{MHz} \le 2000\ MHz$$

h_b는 기지국 안테나 높이(m)이며, $a(h_m)$는 이동국 안테나 높이 보정계수이고, K는 무선전파환경 보정계수로 도심, 교외, 개방지역에 따라 다른 값을 가진다.

반송파 주파수에 따른 Hata 모델의 경로손실식인 식 (16), (17)을 사용하여 다음과 같이 Hata 모델에서 반송파 주파수에 따른 최대 통화권을 구할 수 있다.

$$d_{\max}^{Hata} = 10^{\frac{P_{TX_MS}+G_{MS}+G_{BS}-\left((E_b/N_0)_{loaded}+10\log(R_b)+NF+kT\right)-\xi-L_{fMHz}}{\alpha\cdot 10}} \tag{18}$$

3-2 간섭제거기를 적용한 통화권 확장

간섭제거기는 내부셀의 다중접속간섭을 제거하고 시스템의 용량을 증가시켜서 성능을 향상시키는데, 간섭제거기의 효과는 간섭제거기의 성능 측정값으로써 간섭제거기 효율(β)의 양으로 나타낼 수 있다. 이 효율은 간섭제거기에 의해 제거되는 내부셀 간섭의 percentage로 나타내며, 간섭제거기의 알고리즘과 무선환경, 그리고 시스템 부하에 의한 효율에 의해 제공된다. 그리고 간섭제거기의 효율(β)이 0 %일 때는 간섭제거기를 사용하지 않은 것과 같으며, 통화권은 간섭제거기의 효율에 의존한다[12].

다음은 간섭제거기 효율(β)을 구하는 식이다.

$$K_{RAKE} = (1-\beta)\cdot K_{MUD} \tag{19}$$

여기서, K_{RAKE}는 레이크 수신기(rake receiver)를 사용하여 검출할 수 있는 사용자 수를 의미하고, K_{MUD}는 간섭제거기를 사용하여 검출할 수 있는 사용자를 나타낸다. 간섭제거기의 효율(β)이 좋을수록 간섭제거기로 검출할 수 있는 사용자수가 증가한다. 따라서 간섭제거기 효율은 시스템의 용량을 증가시켜 주는 인자로 작용한다. 이때, β는 0과 1 사이의 값을 가지며, β = 0일 때는 기존의 정합필터 및 레이크 수신기를 거친 신호들의 BER(Bit Error Rate)값이 되고, β = 1일 때는 간섭 제거기의 BER 성능이 완벽한 0이 된다고 가정한다. 간섭제거기의 종류와 환경에 따라 BER 성능이 달라지므로, 간섭제거기의 BER값을 β에 매핑(mapping)시켜 간섭제거기의 효율을 산출해 낸다.

다음은 간섭제거기를 적용한 내부셀(I_{own}^{MD})의 간섭과 인접한 외부 셀의 간섭(I_{other}) 및 요구되는 E_b/N_0를 나타낸다[1].

$$I_{own}^{MUD} = (1-\beta)\cdot I_{own} \tag{20}$$

$$I_{other} = \frac{1_{ovn}^{MD}}{(1-\beta)}\cdot\left(\frac{1}{F}-1\right)+\frac{E_b}{G_p}\cdot\left(\frac{1}{F}-1\right) \tag{21}$$

$$\frac{E_b}{I_0+N_0} = \frac{E_b}{I_{own}^{MUD}+I_{other}+N_0} \tag{22}$$

여기서 간섭제거기를 적용한 경우, 기지국과 단말기 사이에 부하가 있는 경우의 요구되는 E_b/N_0는 식 (20)~(22)에 의해 다음과 같이 표현된다.

$$\left(\frac{E_b}{N_0}\right)_{loaded}^{MUD} = \frac{1}{\left(\frac{E_b}{N_0}\right)_{unloaded}^{-1}-\left\{N\cdot\left(\frac{1}{F}-\beta\right)+\beta-1\right\}\cdot\frac{1}{G_p}} \tag{23}$$

식 (23)을 이용하여 기지국과 단말기 사이에 부하가 없다고 가정하면 다음과 같이 시스템의 최대 용량을 구할 수 있다.

$$N_{\max}^{MUD} = \frac{\left(\frac{E_b}{N_0}\right)_{unloaded}^{-1}\cdot G_P-\beta+1}{\frac{1}{F}-\beta} \tag{24}$$

또한 간섭제거기를 사용한 경우 기지국의 최대 통화권을 산출하는 식은 다음과 같이 표현되며,

$$d_{\max}^{MUD} = 10^{\frac{P_{TX_MS}+G_{MS}+G_{BS}-\left\{\left(\frac{1}{\left(\frac{E_b}{N_0}\right)_{unloaded}^{-1}-\left\{N\left(\frac{1}{F}-\beta\right)+\beta-1\right\}\frac{1}{G_P}}\right)+10\log(R_b)+NF+kT\right\}-\xi}{\alpha\cdot 10}} \tag{25}$$

Hata 모델에 식 (25)를 적용하여 구한 최대 통화권은 아래 식 (26)과 같다.

$$d_{max}^{MUD} = 10^{\frac{P_{TX_MS}+G_{MS}+G_{BS}-\left(\left(\frac{1}{\left(\frac{E_b}{N_0}\right)_{uncoded}^{-1}-\left(N\left(\frac{1}{F}-\beta\right)+\beta-1\right)\frac{1}{G_p}}\right)+10\log(R_b)+NF+kT\right)-\xi-L_{fMHz}}{\alpha 10}} \quad (26)$$

여기서, L_{fMHz}는 반송파 주파수에 따라 Hata 모델의 경로손실을 표현한 식인 식 (16), (17)을 참조한다.

위의 식 (25), (26)에서 간섭제거기의 효율(β)이 증가할수록 내부셀의 다중접속간섭을 제거함으로써 시스템의 용량을 높이고 최대 통화권의 증가를 예측할 수 있다.

Ⅳ. 모의실험

본 장에서는 본 논문에서 구성한 시스템을 단일 서비스환경에서 각 전송속도에 따라 모의 실험을 해 보았다(그림 1). 여기서 가정한 단일 서비스환경은 음성서비스를 요구하는 사용자와 데이터서비스를 요구하는 사용자가 동일 셀 내에 있지 않다고 가정하며, 이 환경은 3GPP(3rd Generation Partnership Project; WCDMA)에서 제시한 값을 인용하였다[15]. 표 1은 본 논문에 이용한 환경 파라메터들을 나타낸다. 대역폭은 3.84 MHz, 음성서비스율은 8 kbps, 데이터서비스율은 각각 64, 144, 384 kbps로 설정하였고, 이 서비스율을 만족시키는 E_b/N_0는 ARIB의 평가 보고서를 참조하였다[15].

표 1. 고속데이터서비스 환경의 파라메터
Table 1. Parameter in high data service.

Bandwidth (MHz)	3.84			
Test Environment	Uplink Vehicular			
Mobile speed (km/h)	120			
Maximum mobile transmission power TX power (dBm)	24			
Mobile station TX antenna gain(dBi)	0			
Base station RX antenna gain (dBi)	13			
Receiver noise figure (dB)	5			
Thermal noise density (dBm/Hz)	−174			
Handover gain (dB)	5			
Bit rate (kbps)	Voice	Data		
	8	64	144	384
Required E_b/N_0 (dB)	6.8	3.8	2.9	2.7

이와 같은 환경을 가정하고 모의실험을 한 결과를 통해 실제 시스템에 적용했을 때의 결과를 예측할 수 있다. 실제 시스템에서 간섭제거기의 성능이 완벽하지 못하므로 통화품질을 만족하는 범위에서 일반적으로 간섭제거기 효율(β)을 60 %~70 %로 제시하고 있다[13]. 본 논문의 모의실험에서는 70 %

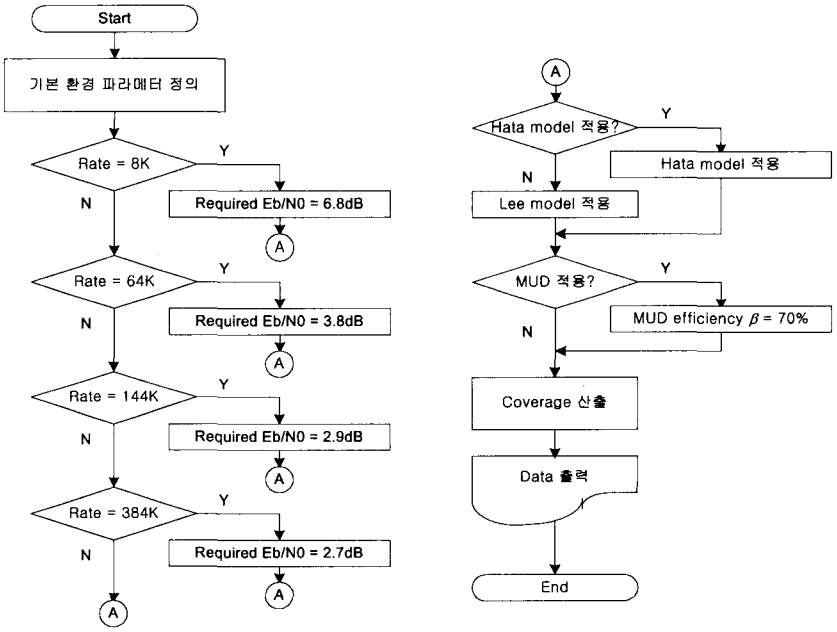

그림 1. 시스템 블록다이어그램
Fig. 1. The block diagram of systems.

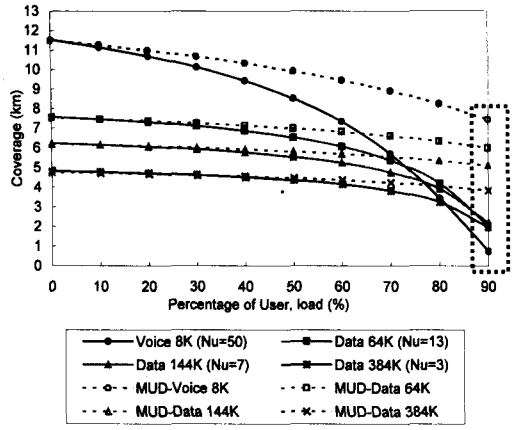

그림 2. Lee 모델에서 각 전송 비트율에 따른 통화권 및 간섭제거기 적용시의 통화권의 분석 (간섭제거기 효율(β) : 70 %)

Fig. 2. Coverage by transmit bit rate in Lee model and analysis on coverage with IC.

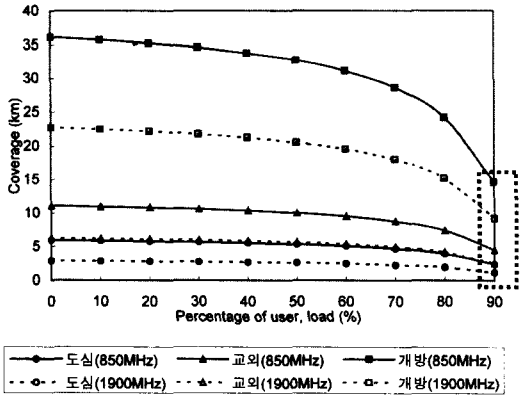

그림 3. Hata 모델에서 Data 384kbps에서의 통화권

Fig. 3. The coverage of data rate (384 Kbps) in Lee Model.

로 설정하였으며, 전체 셀의 간섭 대 내부셀의 간섭비(F)는 일반적으로 셀룰러 환경에서 적용되는 50 %로 하였다.

그림 2는 Lee 모델에서 효율이 70 %인 간섭제거기를 적용한 시스템과 간섭제거기를 적용하지 않은 시스템에서 셀 부하에 따른 통화권을 각 전송 비트율에 따라 그래프로 나타내고, 표 2는 부하가 90 %일 때, 각 비트율에 따라 간섭제거기를 적용하였을 때의 통화권을 비교한다. 여기에서 전송 비트율이

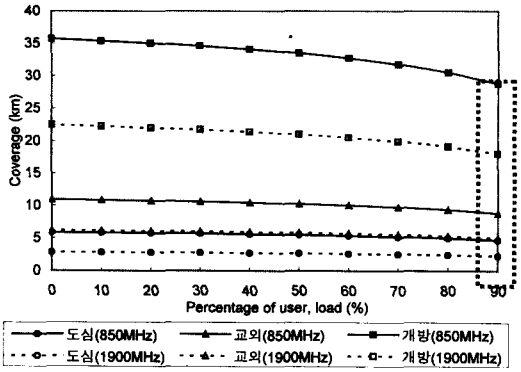

그림 4. Hata 모델에서 Data 384 kbps에서의 간섭제거기를 적용한 통화권 (간섭제거기 효율(β) : 70 %)

Fig. 4. The coverage of data rate (384 Kbps) with IC in Hata model.

8 kbps인 음성서비스에서 간섭제거기를 사용한 통화권의 이득이 가장 크게 나는 이유는 8 kbps에서의 최대 용량이 가장 크므로 즉, 수용 가능한 최대 사용자가 가장 많으므로 각 사용자에 의한 다중접속 간섭이 크게 증가하기 때문에 발생하는 결과이다.

또한 부하가 90 %라 함은 각 전송 비트율에서 수용 가능한 최대 사용자 수의 90 %에 해당하는 값으로 모의 실험에서 실제 환경과의 비교를 위해 부하를 90 %로 가정하였다.

그림 3과 그림 4는 Hata 모델을 이용하여 데이터 서비스인 384 kbps에서 각각의 전파환경에 따라 효율이 70 %인 간섭제거기를 적용하지 않았을 때(그림 3)와 적용하였을 때(그림 4)의 통화권을 비교하여 나타내고 있다. 여기서 실선으로 표시된 것은 반송파 주파수가 850 MHz인 경우이고 점선으로 표시된 것은 반송파 주파수가 1900 MHz인 경우이다. 표 3은 그림 3과 그림 4의 결과에서 부하가 90 %일 때

표 2. Lee 모델에서 각 전송 비트율에 따른 간섭제거기 적용시의 통화권 이득

Table 2. Coverage gain with IC by bit rate in Lee model.

비트율 (kbps)	8	64	144	384
Non-MUD (km)	0.7	2.0	2.1	1.9
MUD (km)	7.4	5.9	5.0	3.8
이 득	6.7	3.9	2.9	1.9

표 3. Hata 모델에서 간섭제거기를 사용한 통화권 이득

Table 3. Coverage gain with IC in Hata.

		도 심	교 외	개 방
f_{MHz} = 850	Non-MUD (km)	2.5	4.5	14.6
	MUD (km)	4.7	8.8	28.7
이 득		2.2	4.3	14.1
f_{MHz} = 1900	Non-MUD (km)	1.1	2.5	9.1
	MUD (km)	2.2	4.9	18.0
이 득		1.1	2.4	8.9

표 4. MUD의 적용 유무에 따른 각 전파환경에서의 통화권 비교

Table 4. The Comparison of coverage by MUD in each environment.

전파환경	Lee 모델	Hata 모델	
		850 MHz, 도심환경	1900 MHz, 도심환경
Non-MUD 통화권	1.9	2.4	1.2
MUD 통화권	3.8	4.7	2.3
이 득	2	1.95	1.91

(전송비트율 ; 384 kbph)

반송파 주파수별로 간섭제거기의 적용에 의한 통화권의 이득을 나타낸다.

표 3의 결과에서 반송파 주파수가 850 MHz에서 1900 MHz에 비해 더 큰 통화권을 갖는 이유는 주파수 특성상 낮은 주파수의 전파거리손실 특성이 우수하므로 발생하는 결과이고, 전파환경이 복잡한 도심환경보다 가시영역(LOS; Line Of Sight)인 개방환경으로 갈수록 더욱 큰 통화권을 얻는다는 것을 확인하였다. 또한 각 기지국에 간섭제거기를 적용하여 각 사용자들에 의한 다중접속간섭을 제거하므로 더 큰 통화권의 이득을 얻을 수 있음을 보였다.

표 4에서는 Lee 모델과 Hata 모델에서 MUD의 적용 유무에 따라 기지국의 부하가 90 %일 때의 통화권과 MUD의 적용에 따른 각각의 통화권의 이득을 비교하여 보여준다.

V. 결 론

본 논문은 3 GPP에 제시된 환경을 참조하여 전파예측모델인 Lee 모델과 Hata 모델을 사용하고 간섭제거기를 사용하여 통화권의 변화를 살펴보았다. Hata 모델에서는 서비스의 종류에 따라 음성서비스인 8 kbps와 데이터서비스인 64, 144, 384 kbps의 다양한 전송비트율에서 지역적으로는 도심지역과 교외지역, 개방지역으로 나누어 분석하였다.

여러 환경에서의 분석 결과를 보면 일반적으로 도심지역 및 기지국의 부하가 큰 경우에 셀의 크기가 상대적으로 줄어든다는 것을 알 수 있었다. 그리고 간섭제거기 효율(β)이 70 %인 간섭제거기를 사용한 통화권의 이득이 데이터서비스의 전송 비트율인 384 kbps에서 Lee 모델을 사용한 경우 2배가 됨을 확인하였다.

동일한 전송 비트율에서 Hata 모델에서 반송파 주파수가 850 MHz이고 도심환경을 가정한 환경에서 간섭제거기를 사용한 통화권의 이득이 1.95배가 됨을 볼 수 있었고, 반송파 주파수가 1900 MHz이고 도심환경을 가정한 환경에서 간섭제거기를 사용한 통화권의 이득이 1.91배가 됨을 볼 수 있었다. 반송파 주파수가 850 MHz에서 1900 MHz에 비해 더 큰 통화권 이득을 갖는 이유는 주파수 특성상 낮은 주파수의 전파거리손실 특성이 우수하므로 발생하는 결과이고, 전파환경이 복잡한 도심환경보다 가시영역(LOS; Line Of Sight)인 개방환경으로 갈수록 더욱 큰 통화권을 얻는다는 것을 확인하였다.

본 연구에서는 다양한 환경에서의 분석 결과뿐만 아니라 각 환경에 따른 통화권을 제시하였으며 간섭제거기의 효율에 따른 용량 및 통화권의 이득을 보았다. 또한 본 논문의 분석결과를 통하여 IMT-2000 환경에서 특정지역의 원활한 서비스 제공을 위해 전반적인 기지국의 재원 사항을 결정하여 이동통신 시스템의 기지국 설계 시 최적의 셀을 설계하기 위한 이론적인 근거로 사용할 수 있을 것이다.

본 연구 결과를 바탕으로 수행되어야 할 향후 연구과제로 실제 IMT-2000 환경인 음성서비스와 같은 저속, 소용량의 데이터를 요구하는 사용자와 데이터서비스와 같은 고속, 대용량의 데이터를 요구하는 사용자가 동일 셀 및 주파수 대역을 공유할 경우인, Multi-Service환경에서 셀의 통화권에 대한 연구가 수행되어져야 할 것이다.

참 고 문 헌

[1] H. Holma, A. Toskala and T. Ojanpera, "Cellular coverage analysis of wideband MUD-CDMA system, Personal, Indoor and Mobile Radio Communications", *1997. Waves of the Year 2000.* PIMRC '97., *The 8th IEEE International Symposium on*, vol. 2, pp. 549-553, 1997.

[2] 차동완, 강석연, 마중수, "CDMA 체계하에서의 절 전형 셀영역 결정", 한국통신학회논문지, 24(2A), pp. 231-237. 1999년 2월.

[3] S. C. Yang, *CDMA RF System Engineering*, Artech House, 1998.

[4] H. Vincent Poor and S. Verdu, "Single User Detectors for multiuser Channels", *IEEE transaction on communication.* vol. 36, no. 1, Jan 1988.

[5] S. Moshavi, "Multi-User Detection for DS-CDMA Communications", *IEEE Communication Magazine*, pp. 124-136, Oct. 1996.

[6] S. R. Saunders, *Antennas and Propagation for Wireless Communication Systems*, Wiley, 1999.

[7] J. S. Lee and L. E. Miller, *CDMA Systems Engineering Handbook*, Artech House, 1998.

[8] Theodore S. Rappaport, *Handbook of CDMA System Design, Engineering and Optimization*, Prentice Hall, 2000.

[9] 오현규, 김항래, 김남, 박성균, "CDMA 셀룰러 시스템에서 소프트 핸드오프에 따른 셀 영역비 증가", 한국통신학회 추계종합학술 발표회 논문집(上), pp. 267-270, 2000.

[10] William C. Y. Lee, *Mobile Cellular Telecommunications Systems*, McGraw-Hill, 1990.

[11] A. J. Viterbi, A. M. Viterbi, K. S. Gilhousen and E. Zehavi, "Soft handoff extends CDMA cell coverage and increases reverse link capacity", *Selected Areas in Communications, IEEE Journal on*, vol. 12, no. 8, pp. 1281-1288, Oct. 1994.

[12] Tero Ojanpera and Ramjee Prasad, *Wideband CDMA for Third Generation Mobile Communications*, Artech House, 1998.

[13] H. Holma and J. Laakso, "Uplink Admission Control and Soft Capacity with MUD in CDMA", *proc. IEEE VTC'99*, pp. 431-435, 1999.

[14] http://www.3gpp.org

[15] ARIB IMT-2000 Study Committee, *Self Evaluation Report on Japan's Proposal for Candidate Radio Transmission Technology on IMT-2000* : WCDMA, 30 Sep. 1998.

박 태 준

2000년 2월: 동양대학교 제어계측공학과 (공학사)
2002년 2월: 영남대학교 멀티미디어공학과 (공학석사)
2002년 2월~현재: Union Tech.

박 재 원

2000년2월: 영남대학교 금속재료공학과 (공학사)
2002년 2월: 영남대학교 정보통신공학과 (공학석사)
2002년 2월~현재: 영남대학교 정보통신공학과 박사과정

박 용 완

1982년 2월: 경북대학교 전자공학과 (공학사)
1984년 2월: 경북대학교 전자공학과 (공학석사)
1989년 2월: 뉴욕주립대 전자공학과 (공학사)
1992년 2월: 뉴욕주립대 전자공학과 (공학박사)
1992년 10월~1993년 12월: 켈리포니아 공과대학 Research Fellow
1994년 1월~1996년 8월: SK Telecom 기술연구부장
2001년 1월~2월: NTT DoCoMo 초빙교수
1996년 9월~현재: 영남대학교 전자정보공학부 부교수